

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Pengertian Jembatan

Berdasarkan Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (PUPR) jembatan adalah suatu konstruksi yang menghubungkan ruas jalan yang terputus oleh adanya suatu rintangan yang permukannya lebih rendah seperti lembah, alur sungai, danau, saluran irigasi, jalan kereta api, jalan raya dan lainnya. Dengan adanya pengertian tersebut dapat disimpulkan bahwa jembatan merupakan suatu konstruksi yang berguna meneruskan atau menghubungkan jalan melalui suatu rintangan yang berada pada kontur yang lebih rendah, Menurut Ir. H.J. Struyk. Perkembangan jembatan dari waktu ke waktu terus berkembang dan mengalami inovasi, baik yang bentuknya sederhana ataupun bentuk yang kompleks membuat jembatan ini semakin baik digunakan. Perkembangan tak hanya dalam bentuknya saja, namun material yang bervariasi juga sudah semakin maju seperti jembatan yang berbahan bambu, kayu, batu, beton bertulang, baja ataupun yang lainnya. Perkembangan ini terus berlanjut sesuai dengan kebutuhan sarana transportasi agar semakin baik dan merata di seluruh wilayah di Indonesia.



Gambar 2. 1 Jembatan di Indonesia
(Sumber : Google.com)

Dalam membangun sebuah jembatan, perlu memperhatikan beberapa hal ataupun aspek seperti daerah yang akan dibangunnya jembatan tersebut baik secara topografinya atau geografinya. Hal ini bertujuan kemudahan dalam merakit sebuah jembatan nantinya dan dapat memberikan manfaat yang maksimal. Tentunya dalam membangun sebuah jembatan, butuh perencanaan yang maksimal baik dalam penentuan jenis jembatan, jalannya proses konstruksi dan klasifikasi jembatan yang akan dibangun nantinya. Dalam sebuah perkembangan, klasifikasi jembatan dibedakan menjadi beberapa jenis seperti berdasarkan fungsinya, lokasinya, material penyusunnya, penempatan lantai jembatan, tipe jembatan, bentuk penyusun jembatan, sistem strukturnya serta metode pelaksanaannya. Berkembangnya jenis-jenis jembatan ini dapat mempermudah dalam merencanakan sebuah jembatan sesuai dengan kebutuhan dan kondisi yang ada di lapangan.

2.2 Perkembangan Jembatan

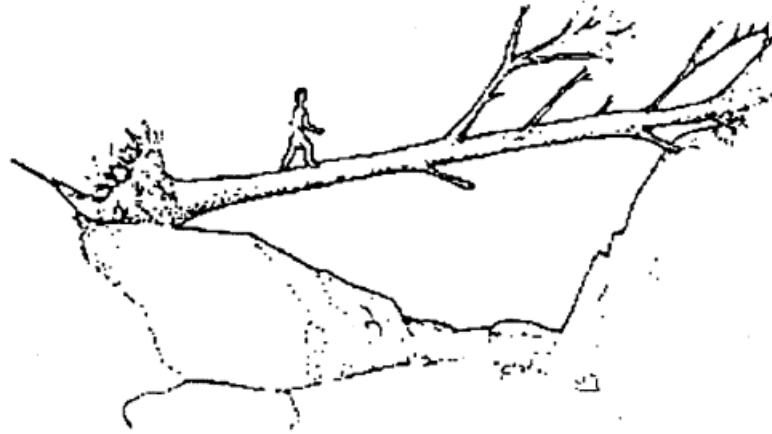
Didalam sebuah karya Dr. Ir. Bambang Supriyadi, CES., DEA. dan Agus Setyo Muntohar, ST. yang tertuang dalam buku berjudul "JEMBATAN" mengatakan bahwa sejarah jembatan sejalan dengan waktu sejarah peradaban manusia, akan tetapi keberhasilan di bidang teknik jembatan bukan berarti suatu hal yang mudah untuk menjadi seperti sekarang ini. Jembatan, sebagaimana bidang keteknikan khususnya teknik struktur (*structure engineering*) diawali dengan proses "*cut and try*" atau banyak orang mengatakan proses "*try and fail*"

Sebagai awalnya digunakan metode empiris. Mereka membuat beberapa perkiraan-perkiraan intelegensi tentang kekuatan bahan dalam membangun jembatan yang sesuai. Beberapa abad lampau sebelum manusia mengategorikan lima tipe jembatan : balok (*beam*), kantilever (*cantilever*), pelengkung (*arch*), kabel gantung (*suspension*) dan rangka (*truss*).Empat tipe pertama jembatan diilhami dari kehidupan sebelum Masehi.

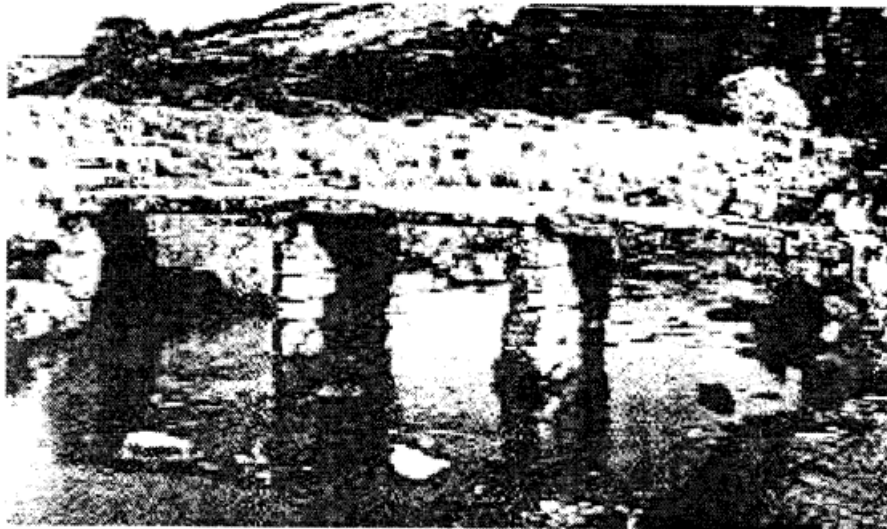
Contoh alami dari jembatan balok sederhana (*simple beam bridge*) adalah pohon yang tumbang melintas di atas sungai (Gambar 2.2). Perkembangan selanjutnya digunakan slab-slab batu alam sebagai jembatan (Gambar 2.3)

Satu hal yang telah dicapai manusia purba saat itu adalah pemakaian prinsip-prinsip jembatan kantilever pada kedua pangkal jembatan. Mereka

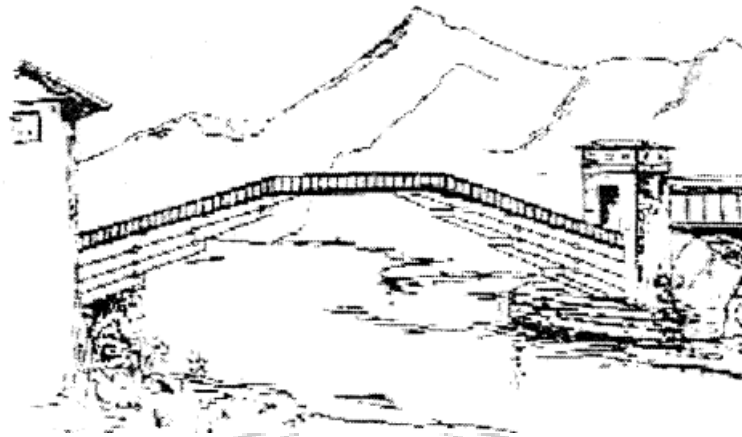
menggunakan prinsip tersebut untuk membangun bentang-bentang panjang agar jembatan balok sederhana dapat dibangun seperti ditunjukkan pada (Gambar 2.4)



Gambar 2. 2 Pohon yang tumbang
(Sumber : Jembatan (2007))



Gambar 2. 3 Slab batu alam sebagai jembatan
(Sumber : Jembatan (2007))



Gambar 2. 4 Jembatan kantilever dengan kombinasi balok sederhana dibagian tengahnya
(Sumber : Jembatan (2007))

2.2.1 Periode Zaman Purba

Deawa ini teknik jembatan merupakan salah satu ilmu yang telah diakui. Akan tetapi, pada ± 100 tahun silam hamper tidak dihargai sebagai suatu hasil karya. Dalam bidang teknik jembatan, pemikiran-pemikiran di masa lampau telah memberikan kontribusi yang berharga seperti sekarang ini.

Pada periode ini manusia purba menyebrangi Sungai dengan memasang tiang-tiang batu dan slab batu, kayu gelondongan atau pohon yang tumbang yang terbatas untuk bentang sungai yang pendek. Untuk melewati Sungai mereka memanfaatkan cabang-cabang atau akar-akar yang bergantung sebagai jembatan gantung dengan cara berayun dari satu pohon ke pohon. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa perkembangan teknik jembatan dihasilkan dari evolusi bentuk struktur, material, metode perencanaan, fabrikasi, dan cara pendiriannya.

Tipe jembatan yang telah digunakan adalah jembatan balok sederhana untuk bentang-bentang pendek, jembatan gantung, dan jembatan kantilever. Tipe jembatan terbaru pada periode ini adalah jembatan tipe pelengkung (*arch bridge*). Bentuk dan material konstruksi yang digunakan pada jembatan umumnya masih relatif sederhana dan alami.

2.2.2 Periode Zaman Pertengahan

Zaman pertengahan di Eropa berlangsung dari abad ke-11 sampai dengan abad ke-16 sesudah runtuhnya Romawi. Secara prinsip konstruksi jembatan yang dibangun pada periode ini tidak jauh berbeda seperti pada zaman Romawi. Bentuk-

bentuk lengkung (*arch bridge*) dan pilar-pilar batu masih sering digunakan seperti pada jembatan Old London yang dibangun pada abad ke-12.

Sekitar abad ke-12 juga, di Perancis dibangun jembatan Avignon yang melintasi Sungai Rhone, daerah Perancis Selatan. Bentuk yang digunakan adalah lengkung kurva ellips dengan bagian puncaknya dapat dibuat lebih tipis. Pilar jembatan dibuat dalam bentuk segi tiga pada bagian hulu. Prinsip ini sekarang dikenal dengan “*streamlining*”.

Dalam pelaksanaan pembangunan jembatan tersebut para pelaksana dihadapkan pada permasalahan tanah dasar yang digunakan sebagai fondasi berupa tanah lunak (*softy subsoil*). Tiang-tiang tersebut dipancang dalam kelompok-kelompok jarak yang rapat membentuk satu kesatuan kelompok tiang kayu yang solid. Bagian atas tiang kemudian dilapisi tiga lapisan kayu sebagai kepala tiang (*pile cap*) dan diperkuat dengan penjepit besi. Selanjutnya, lapisan batu ditempatkan di atasnya sebagai pangkal jembatan dan kemudian dibuat bentuk lengkungnya.

2.2.3 Zaman Jembatan Besi dan Baja

Era jembatan besi dan baja sejalan dengan adanya revolusi industri. Untuk pertama kali konstruksi jembatan yang dibangun masih meniru konstruksi jembatan batu. Jembatan besi yang pertama kali dibangun adalah jembatan Coalbrookdale yang melintasi sungai severn, Inggris tahun 1776 yang dibangun dengan bagian yang berbeda yang berbentuk setengah lingkaran pada Gambar 2,5 Sampai dengan saat ini jembatan ini masih tetap berdiri. Namun pada beberapa tahun baru-baru ini telah dilakukan renovasi perkuatan terhadap abutment dan konstruksi besi yang masih ada.



Gambar 2. 5 Jembatan Coolbrookdale, Inggris
(Sumber : Google.com)

Di zaman pertengahan ini jembatan besi yang dibangun masih menggunakan prinsip-orinsio bentuk lengkung (*arch bridge*) terutama untuk jembatan jalan raya. Walaupun jembatan yang dibangun menggunakan system kantilever, masih tetap memakai bentuk lengkung murni atau dengan beberapa perubahan, seperti pada jembatan *Fith of Forth* di Skotlandia dan jembatan *Quebec* di Kanada.

2.3 Klasifikasi Jembatan

Dalam sebuah perkembangan zaman, maka perkembangan infrastruktur salah satunya jembatan juga terus berkembang. Perkembangan jembatan ini menjadikan jenis jembatan beragam berdasarkan fungsi, lokasi, material dan tipe strukturnya. Perkembangan tersebut dapat dilihat di setiap peradabannya seperti zaman purba, jembatan menggunakan batang pohon untuk menghubungkan dua wilayah yang terpisah oleh suatu rintangan. Zaman pertengahan mulai adanya bentuk sebuah jembatan berupa lengkung kurva elips dan banyak perkembangan hingga saat ini. Struktur jembatan yang beragam ini dibedakan menjadi beberapa klasifikasi seperti Tabel 2.1 sebagai berikut.

Tabel 2. 1 Klasifikasi dan Jenis Jembatan

Klasifikasi	Jenis Jembatan
Fungsi	1. Jembatan jalan raya (<i>Highway bridge</i>)

	2. Jembatan pejalan kaki (<i>pedestrian bridge</i>)
	3. Jembatan jalan kereta api (<i>Railway bridge</i>)
Lokasi	1. Jembatan di atas lembah
	2. Jembatan di atas sungai, danau, atau laut
	3. Jembatan di atas jalan yang ada (<i>Flyover</i>)
	4. Jembatan di dermaga (<i>Jetty</i>)
	5. Jembatan di atas saluran irigasi/drainase (<i>Culvert</i>)
Material Konstruksi	1. Jembatan beton (<i>Concrete bridge</i>)
	2. Jembatan beton prategang (<i>Prestressed concrete bridge</i>)
	3. Jembatan baja (<i>Steel bridge</i>)
	4. Jembatan komposit (<i>Composite bridge</i>)
	5. Jembatan kayu (<i>Log bridge</i>)
Tipe Struktur	1. Jembatan rangka (<i>Truss bridge</i>)
	2. Jembatan pelengkung (<i>Arch bridge</i>)
	3. Jembatan gantung (<i>Suspension bridge</i>)
	4. Jembatan kabel (<i>Cable stayed bridge</i>)
	5. Jembatan pelat (<i>Slab bridge</i>)
	6. Jembatan pelat berongga (<i>voided slab bridge</i>)
	7. Jembatan gelagar (<i>Girder Bridge</i>)
	8. Jembatan kantilever (<i>Cantilever bridge</i>)
Panjang Bentang	1. Bentang pendek (<i>Small span bridge</i>), panjang bentang hingga 15 m
	2. Bentang sedang (<i>Medium span bridge</i>), panjang bentang hingga 75 m
	3. Bentang menengah, panjang bentang antara 50-150 m
	4. Bentang panjang, panjang bentang > 150 m
Sambungan Antar Bentang (Interspan Relation)	1. Simply supported bridges
	2. <i>Cantilever bridges</i>
	3. <i>Continuous bridges</i>
Geometri Jembatan	1. <i>Straight bridges</i>
	2. <i>Curved bridges</i>
	3. <i>Skewed bridges</i>
Position-Movable	1. <i>Bescule bridge</i>
	2. <i>Lift bridges</i>
	3. <i>Swing bridge</i>

Sumber : Bridge engineering, classification, design loading, and analysis methods 2017

2.4 Jembatan Rangka Batang (*Truss Bridge*)

Pada abad ke-18 sampai abad ke-19 di Amerika Serikat, sudah ada beberapa tipe jembatan rangka batang yang telah ditemukan. Banyak usaha yang dilakukan untuk mendapatkan hasil yang terbaik. Dari beberapa material yang tersedia seperti kayu, besi dan baja.

Metode sambungan juga menjadi faktor dalam mendesain karena pada saat itu ukuran menjadi bagian yang sangat penting. Hal ini dikarenakan ukuran yang besar dan berat akan menyebabkan kendala dalam pengangkutan material tersebut dan masalah itu sejalan dengan munculnya jalan kereta api karena peningkatan beban merupakan faktor dalam hal merancang suatu jembatan.

Jembatan rangka batang (*truss bridge*) adalah jembatan yang dibangun dengan menggunakan 2 rangka utama yang dihubungkan dengan elemen-elemen sudut sehingga membentuk sebuah struktur berbentuk segitiga. Elemen-elemen tersebut dihubungkan dengan balok melintang dan memanjang sehingga mampu menahan gaya tarik dan gaya tekan yang dihasilkan dari beban yang bekerja. Elemen tersebut juga disambungkan dengan alat sambung seperti pelat sambung, baut dan juga ada elemen yang di las.

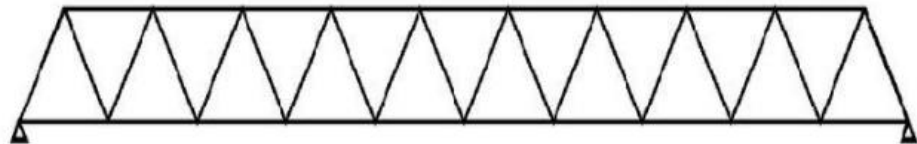
Jembatan rangka batang ini bisa dibuat dengan menggunakan bahan yang keras seperti kayu, besi dan beton prategang. Jembatan kayu dipakai pada zaman dulu, kemudian berkembang menggunakan baja dan beton prategang yang digunakan sebagai jalur rel kereta api maupun untuk jalur lalu lintas jalan raya hingga saat ini. Kelebihan jembatan rangka pada ini adalah struktur yang kaku, ringan, ekonomis dan metode pelaksanaan yang cukup mudah dikarenakan perakitannya persegmen dari jembatan tersebut.

2.4.1. Tipe Jembatan Rangka

Dalam sebuah struktur jembatan rangka batang memiliki jenis dan tipe yang beragam dan menyesuaikan material penyusunnya dan fungsi nantinya. Para ahli mengembangkan bentuk dan tipe jembatan dan mematenkan beberapa inovasi untuk beragam bentuk jembatan rangka ini. Tujuannya adalah untuk mempermudah sebuah pekerjaan dalam mendesain dan menginterpretasikan bentuk jembatan itu nantinya untuk pembangunan sebuah infrastruktur. Berikut beberapa macam dan jenis dari jembatan rangka seperti di bawah ini.

1. Tipe Warren (*Warren Truss*)

Tipe *warren truss* diambil dari nama dari seseorang bernama James Warren. Desain tipe ini dipatenkan pada tahun 1848 di Inggris. Ciri-ciri dari jembatan tipe ini adalah panjang segitiga yang sisinya sama (segitiga sama sisi). Desain ini adalah desain yang sederhana dikarenakan gerakan gaya yang cukup ke bagian jembatan berdasarkan titik bebannya. Dengan hal ini maka perlu mengetahui jalur distribusi beban supaya seimbang dengan beban yang terkuat. Beban yang terpusat menjadikan sistem warren kurang efisien sehingga jembatan ini menguntungkan untuk beban yang terbentang karena dengan struktur bentang yang panjang struktur sederhana diperlukan. Kelebihan dari Tipe ini adalah distribusi beban merata diantara elemen dan desain yang sederhana. Terlepas dari kelebihan, pastinya juga memiliki sebuah kekurangan yang menjadikan pertimbangan untuk memilih tipe jembatan ini. Kekurangan dari tipe *warren truss* adalah performa yang buruk saat beban terpusat dikarenakan jalur distribusi beban yang berubahannya teratur yang membuat desain rangka tipe *warren truss* ini kurang beragam.



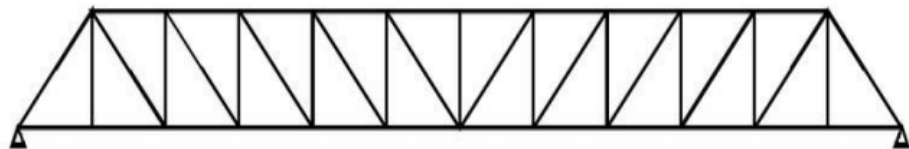
Gambar 2. 6 Jembatan Rangka Tipe *Warren Truss*
(Sumber : Penulis)

2. Tipe Pratt (*Pratt Truss*)

Jembatan rangka *pratt truss* merupakan salah satu jenis rangka yang paling sering digunakan dan memiliki anggota vertical serta diagonal yang miring ke bawah ke arah Tengah (berlawanan dengan rangka howe). Rangka *pratt truss* memiliki anggota vertical dan diagonal yang miring ke bawah menuju tengah. Di bawah pembebanan seimbang, diagonal bagian dalam dikencangkan dan elemen vertikal dikompresi. *Pratt truss* merupakan desain yang ditemukan oleh Thomas dan Caleb Pratt, seorang insinyur kereta api (railway engineering). Desain *pratt truss* jauh lebih kompleks dari desain *warren truss* dan biaya

produksinya lebih mahal. Jenis ini cocok untuk bentang hingga 250 kaki (76 m) dan merupakan konfigurasi yang populer untuk jembatan kereta api karena jembatan rangka bertransisi dari kayu ke logam.

Dalam sejarahnya, tipe ini populer dari tahun 1840-an hingga awal abad ke 20 (dua puluh), memiliki tegangan diagonal dan kompresi vertikal dengan pengecualian vertikal pinggul yang berhadapan langsung dengan pilar ujung jembatan yang miring. Jenis ini awalnya dibuat sebagai kombinasi rangka kayu dan besi, namun segera diganti dengan rangka besi saja. *Pratt truss* bertahan baik dalam peralihan konstruksi besi maupun transisi kedua ke penggunaan baja. Selama abad XIX dan abad XX jenis ini menciptakan sejumlah besar modifikasi dan subtipe yang dimodifikasi. Mayoritas jembatan rangka logam yang tersisa di Maryland adalah rangka *pratt truss*. Kelebihan dari *pratt truss* ini adalah desain yang memperhatikan semua perilaku komponen struktur, mudah dibangun, dapat dimodifikasi, dan ideal digunakan untuk beban lalu lintas. Kekurangan dari jembatan tipe ini adalah beban horizontal yang diterima memerlukan pertimbangan desain yang berbeda, biaya pemeliharaan dan perawatan yang tinggi, tidak efisien dalam bentang panjang dan kedalaman sungai yang dangkal.

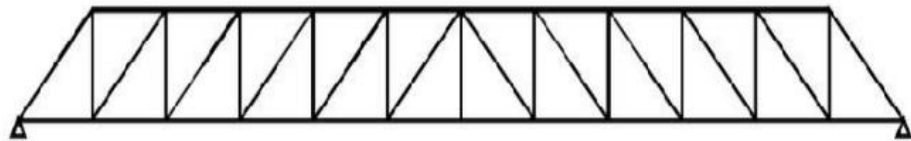


Gambar 2. 7 Jembatan Rangka *Pratt Truss*
(Sumber : Penulis)

3. Tipe Howe (*Howe Truss*)

Jembatan rangka *howe truss* adalah jenis jembatan rangka yang terdiri dari tali busur, vertikal, dan diagonal, dengan bagian vertikal dalam tegangan dan elemen diagonal dalam kompresi. Desain *howe truss* dipatenkan oleh William Howe pada tahun 1840. Perbedaannya dari desain William truss adalah diagonal menghadap ke arah berlawanan atau menjauh dari pusat. Perubahan tersebut berdampak pada penerapan perubahan arah gaya. Kelebihan dari jembatan *howe truss* merupakan

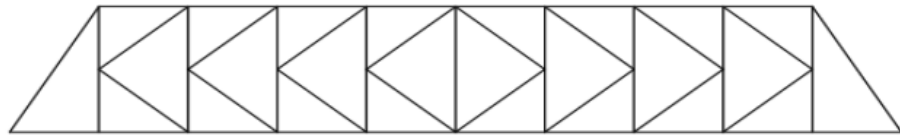
jembatan yang ekonomis, ringan dan kuat dengan menggunakan kayu-kayu pendek, lebih mudah diperbaiki dan dirawat, konstruksi yang cepat dan kekuatan lebih besar dengan material yang lebih sedikit. Kekurangan dari Howe truss adalah material yang terbuang jika tidak dirancang dengan baik, angin yang kencang dapat merobohkan jembatan dan jika tidak di desain dengan benar maka lemah dalam menompang beban hidup yang berjalan di atasnya.



Gambar 2. 8 Jembatan Rangka *Howe Truss*
(Sumber : Penulis)

4. Tipe K (*K-Truss*)

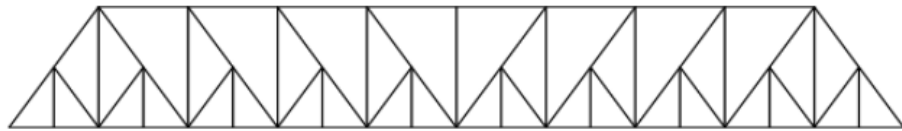
K-Truss merupakan jenis *truss* baja ringan yang kuat dan mampu menahan beban yang lebih berat daripada jenis *truss* lainnya. Pola segitiga pada *K-Truss* sama besar pada semua sisinya dan memiliki bagian diagonal yang terletak pada sudut 45 derajat. Kelebihan dari *K-Truss* adalah kemampuannya dalam menahan beban vertikal dan horizontal, serta cocok diaplikasikan pada bangunan yang tinggi dan lebar. *K-Truss* perencanaan dan produksi yang cenderung lebih sulit dibandingkan dengan *truss* lainnya sehingga harganya jauh lebih mahal namun kekuatan dan ketahanannya lebih aman terhadap beban yang lebih berat. *K-Truss* bisa disebut juga variasi bentuk dari desain *truss* lainnya dikarenakan memecah batang diagonal jadi kecil untuk mengurangi tekukan dari bawah tekanan. Penggunaan desain ini terbilang sulit karena rumit, mahal dan pengerjaannya memakan waktu. Kelebihan dari *K-Truss* adalah jembatannya yang sangat kuat, dapat menggunakan beberapa material, mampu bertahan dalam kondisi ekstream dan biasanya digunakan untuk jembatan penyebrangan kendaraan umum. Dibalik kelebihannya terdapat kekurangan dari *K-Truss* yaitu jembatan yang membutuhkan tempat yang cukup luas, biaya perawatan yang relative tinggi dan desain jembatan yang kompleks.



Gambar 2. 9 Jembatan Rangka Tipe *K-Truss*
(Sumber : Penulis)

5. Tipe Baltimore (*Baltimore Truss*)

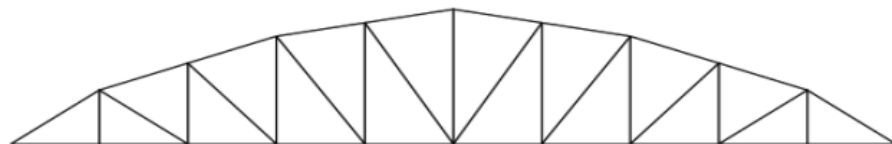
Tipe rangka *baltimore truss* merupakan bentuk modifikasi dari tipe *pratt* dimana pada tipe *baltimore truss* terdapat elemen diagonal tambahan pada bagian bawah. Penambahan elemen ini bertujuan untuk mencegah gaya yang akan terjadi dan dapat mengontrol terjadinya defleksi. Jembatan ini cocok digunakan pada struktur bentang panjang.



Gambar 2. 10 Jembatan Rangka Tipe *Baltimore Truss*
(Sumber : Penulis)

6. Tipe *Parker Truss*

Tipe jembatan ini merupakan modifikasi dari tipe *pratt truss* yang dimodifikasi bentuknya sehingga terdapat sudut di bagian sambungannya sehingga membentuk lengkung seperti *camelback truss*. Tipe jenis ini menggunakan material yang lebih sedikit dibandingkan dengan *pratt truss*, namun proses pelaksanaannya lebih rumit dikarenakan adanya variasi yang diimplementasikan pada rangka tipe ini.



Gambar 2. 11 Jembatan Rangka Tipe *Parker Truss*
(Sumber : Penulis)

Sebelum mendapatkan konfigurasi yang akan didesain dan digunakan, *Nawasena Bridge* terlebih dahulu melakukan analisa terhadap seluruh tipe jembatan rangka batang yang sudah dijelaskan. Tipe yang akan dibandingkan juga nantinya telah mengalami modifikasi sesuai dengan kebutuhan dari *Nawasena Bridge* dimana nantinya akan dibandingkan antara berat dan lendutan dari jembatan ini.

Perbandingan ini ditinjau melalui hasil lendutan dengan beban yang sama sehingga dapat dibandingkan antara tipe satu dengan tipe yang lainnya yang bertujuan untuk memperoleh desain struktur rangka yang paling efisien.

Berdasarkan hasil analisa yang dilakukan, maka terdapat perbedaan berat dan lendutan pada setiap tipe jembatan yang dianalisa. Dari hal ini tipe rangka *warren truss* menjadi pilihan dari *nawasena bridge* dimana memiliki rasio lebih kecil dibandingkan dengan tipe yang lainnya. Ratio ini berdasarkan dari penjumlahan lendutan dan berat yang dihasilkan dari masing-masing tipe sesuai dengan keinginan desain nantinya dimana jembatan tersebut memiliki berat maksimal dan lendutan maksimal sehingga mendapatkan parameter secara objektif. Jenis struktur *warren truss* memiliki kelebihan dapat menahan tekuk lebih besar yang dimodifikasi dan memiliki berat yang ringan diantara tipe yang lainnya.

2.4.2. Konsep Umum Jembatan

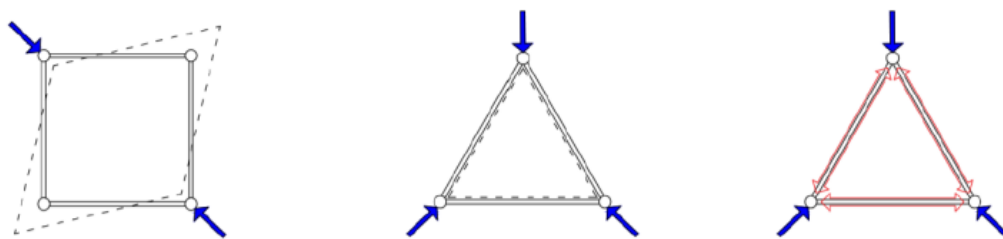
Perbedaan antara satu tipe dengan tipe lainnya pastinya memiliki beberapa faktor. Perbedaan ini dapat dilihat dari konsep masing-masing jenis jembatan. Berikut ini dibahas beberapa konsep umum yang ada pada jembatan rangka batang.

2.4.2.1 Pembentukan Segitiga (Triangulasi)

Dalam mendesain jembatan rangka batang sebagai struktur yang akan memikul beban maka jembatan tersebut memiliki penyusun elemen menjadi bentuk segitiga yang akan menghasilkan struktur yang stabil. Bentuk jembatan yang stabil adalah bentuk segitiga dikarenakan pada bentuk ini beban akan mampu di alirkan ke elemen satu dengan elemen lainnya. Pada bentuk segiempat atau bujursanglar, apabila struktur tersebut diberi beban eksternal, maka akan terjadi deformasi massif yang mengakibatkan struktur nantinya menjadi tidak stabil. Bila pada struktur jembatan menerima beban dan jembatan tersebut tidak stabil maka akan membentuk suatu mekanisme runtuh (*collapse*). Sebaliknya, konfigurasi segitiga tidak dapat berubah bentuk atau runtuh, sehingga dapat dikatakan bahwa bentuk ini stabil.

Pada struktur yang stabil, deformasi yang terjadi relative kecil dan dikaitkan dengan perubahan pada setiap elemennya akibat gaya yang terjadi di dalam batang sebagai akibat dari beban eksternal. Sudut yang terbentuk antara dua batang tidak akan berubah dan struktur tersebut menjadi stabil jika di bebani. Berbeda halnya

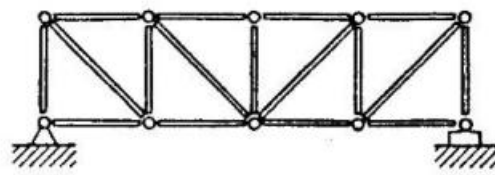
dengan bentuk persegi dimana penerimaan beban tidak stabil hal ini dikarenakan saat struktur tersebut di bebani maka akan terjadi deformasi karena penerimaan beban yang tidak stabil. Pada prinsip struktur rangka batang, pembebanan yang terjadi harus terpusat pada titik hubung agar elemen-elemen batang mengalami gaya tekan dan tarik serta momen yang terjadi dapat diasumsikan bernilai 0 (nol). Sudut yang terbentuk antara dua batang tidak akan berubah apabila struktur stabil tersebut dibebani. Hal ini sangat berbeda dengan mekanisme yang terjadi pada bentuk yang tidak stabil, dimana batang tersebut akan mengalami perubahan. Hal ini dibuktikan pada Gambar 2.12



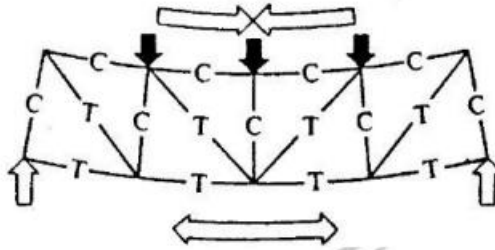
Gambar 2.12 Konfigurasi Sistem Rangka Stabil dan Tidak Stabil
(Sumber : Daniel L. Schodeck, 1999)

2.4.2.2 Konfigurasi

Susunan batang yang berbentuk segitiga menjadikan rangka batang tersebut nantinya akan memiliki struktur yang stabil sesuai yang sudah di jelaskan sebelumnya. Penentuan sebuah konfigurasi menjadi hal penting dikarenakan akan mendukung jembatan tersebut menjadi satu kesatuan yang membentuk sebuah jembatan yang kokoh dan kuat serta mampu menahan beban yang akan terjadi pada jembatan tersebut. Pada struktur yang stabil, gaya eksternal menyebabkan timbulnya gaya pada batang-batang. Gaya-gaya tersebut adalah gaya tarik dan gaya tekan murni. Lentur (*bending*) tidak akan terjadi selama gaya eksternal berada pada titik nodal (*joint*). Bila susunan segitiga dari batang-batang adalah bentuk stabil, maka sembarang susunan segitiga akan membentuk struktur stabil dan kokoh. Hal ini merupakan prinsip dasar penggunaan rangka batang pada Gedung maupun bangunan lainnya seperti jembatan rangka. Bentuk kaku yang lebih besar untuk sembarang geometri dapat dibuat dengan memperbesar segitiga-segitiga itu. Untuk rangka batang yang hanya memikul beban vertical, pada batang tepi atas umumnya timbul gaya tekan, dan pada tepi bawah akan menimbulkan gaya tarik.



(a) Konfigurasi segitiga kaku



(b) Hanya gaya tarik atau tekan yang timbul di dalam batang pada rangka batang yang setiap batangnya dihubungkan secara sendi apabila beban-beban hanya bekerja pada titik-titik hubung.

Gambar 2. 13 Struktur Segita : Setiap Struktur yang Terdiri Atas Sekumpulan Bentuk Segitiga Membentuk Susunan Kaku yang Mampu Memikul Beban Eksternal
(Sumber : Daniel L. Schodeck, 1999)

Konfigurasi rangka batang dilakukan dengan memodifikasi bentuk rangka serta dapat pula menambah atau mengurangi jumlah elemen batang. Penambahan atau pengurangan jumlah batang pada struktur rangka batang bertujuan untuk meminimalisir lendutan yang terjadi tanpa mengurangi kekuatan dari struktur yang ada sehingga saat mengalami pembebanan, jembatan tidak runtuh. Struktur mengalami keruntuhan apabila pembebanan secara langsung diberikan ke struktur yang belum stabil. Maka dari itu, konfigurasi yang tepat sangat menentukan stabilitas rangka batang struktur jembatan. Struktur yang stabil dapat dikontrol dengan persamaan stabilitas rangka sebagai berikut.

$$2J = M + 3$$

Keterangan :

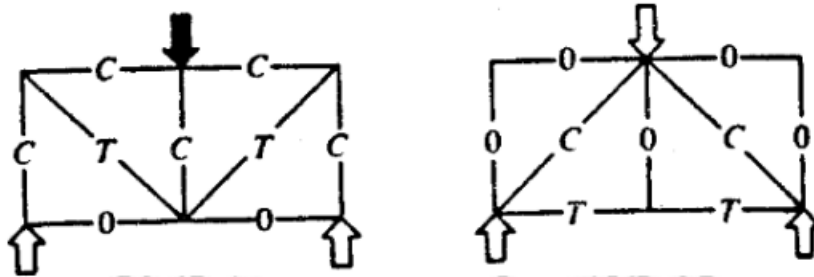
J = *Joint/Nodal*

M = *Member/Batang*

2.4.2.3 Gaya Batang

Prinsip yang mendasari teknik analisis gaya batang adalah bahwa setiap struktur atau setiap bagian dari setiap struktur harus berada dalam kondisi seimbang. Untuk konfigurasi rangka batang sederhana, sifat gaya tersebut (tarik, tekan atau nol) dapat ditentukan dengan memberikan gambaran bagaimana rangka batang tersebut memikul beban. Salah satu cara untuk menentukan gaya dalam batang pada rangka batang adalah dengan menggambarkan bentuk deformasi yang mungkin

terjadi. Gaya-gaya batang yang bekerja pada titik hubung rangka batang pada semua bagian struktur harus berada dalam keseimbangan, seperti pada Gambar 2.14. Prinsip ini merupakan kunci utama dari analisis rangka batang.



Gambar 2. 14 Distribusi Gaya Batang Rangka Batang; C= tekan, T= tarik
(Sumber : Daniel L. Schodeck, 1999)

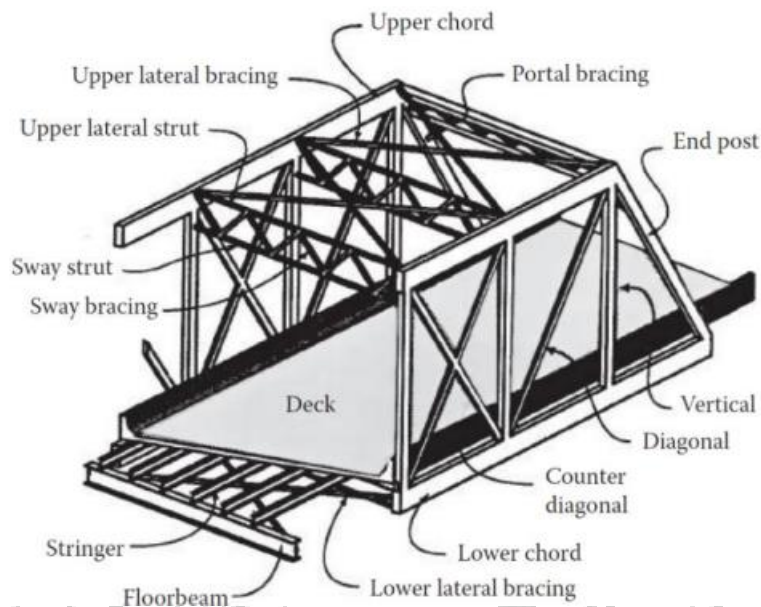
2.4.3. Komponen Struktur Jembatan Rangka

Pada sebuah jembatan terdapat komponen penyusun utama pada strukturnya tersebut. Komponen utama ini terbagi menjadi 2 bagian yaitu komponen struktur rangka atas (*Superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*). Kedua struktur ini akan saling berkaitan antara satu dengan yang lainnya yang bertujuan untuk kestabilan jembatan.

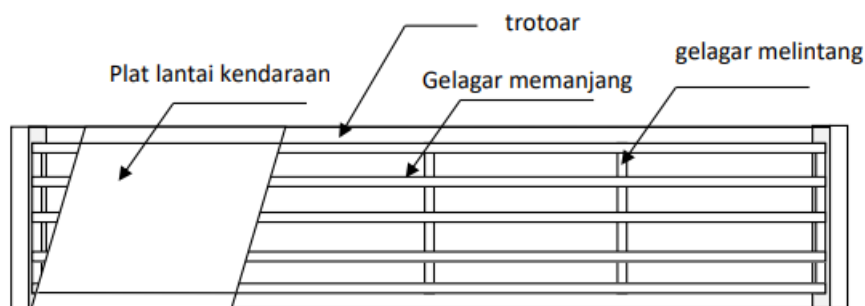
Berdasarkan lokasi *deck chord* dan *top chord*, jembatan rangka secara garis besar dibedakan menjadi tiga tipe, yaitu *through type truss*, *pony type truss*, dan *deck type truss*. Penjelasan terkait struktur rangka atas (*superstructure*) dan struktur bawah (*substructure*).

2.4.3.1 Struktur Atas Jembatan Rangka (*Superstructure*)

Struktur atas jembatan adalah komponen yang menerima langsung beban yang bekerja pada jembatan diantaranya meliputi beban akibat berat sendiri dan faktor dari luar seperti beban lalu lintas ataupun pejalan kaki yang melewatinya. Komponen-komponen struktur atas rangka batang disajikan pada Gambar 2.15 dan Gambar 2.16.



Gambar 2. 15 Komponen Struktur Atas Jembatan Rangka Batang
(Sumber : Wai-Fah Chen dan Lian Duan, 2014)



Gambar denah struktur bangunan atas jembatan

Gambar 2. 16 Gambar Denah Struktur Bangunan Atas Jembatan
(Sumber : Ir. Yunan Rusdianto, MT., 2022)

Struktur atas jembatan terbagi menjadi beberapa bagian diantaranya :

1. Lantai Kendaraan

Lantai kendaraan berfungsi untuk menerima beban roda kendaraan secara langsung (beban T)

2. Gelagar melintang

Struktur balok arah melintang jembatan, yang dipasang pada jarak-jarak tertentu pada arah memanjang jembatan dan berfungsi sebagai balok pengaku gelagar memanjang jembatan. Pada jembatan beton bertulang dan jembatan rangka batang, penempatan gelagar melintang jadi satu kesatuan dengan plat lantai kendaraan sehingga disamping sebagai pengaku gelagar

memanjang, gelagar melintang berfungsi menerima beban hidup kendaraan (beban “T” atau beban “D”).

3. Gelagar memanjang jembatan

Gelagar memanjang merupakan struktur utama dari bangunan atas jembatan. Fugsi gelagar memanjang adalah untuk menerima seluruh beban dari bangunan atas jembatan, baik beban mati dan beban hidup yang bekerja pada bangunan atas (termasuk beban hidup kendaraan) dan meneruskan beban tersebut ke bangunan bawah jembatan

4. Ikatan-ikatan

Ikatan-ikatan berfungsi untuk menahan gaya arah lateral pada struktur rangka yang diakibatkan oleh beban angin. Ikatan-ikatan juga biasa disebut sebagai diafragma, bracing, ataupun batang ikatan angin.

5. Struktur pelengkapan pada struktur jembatan diantaranya adalah seperti sebagai berikut.

a. *Expansion Joint*

Expansion Joint berfungsi sebagai peredam getaran dan benturan yang muncul akibat beban pada lantai/permukaan jembatan.

b. *Separator/Kerb*

Kerb berfungsi sebagai pemisah lantai kendaraan dengan trotoar serta memisahkan dua arus yang berlawanan.

c. *Railing*

Railing merupakan pegangan jembatan pada tepi kanan dan kiri jembatan

Railing berfungsi sebagai sandaran yang berguna untuk memberikan keamanan dan keselamatan pengguna jalan.

d. Perletakan Jembatan (*Bearing Pad Structure*)

Bearing Pad Structure juga dikenal umum sebagai elastomer atau bantalan jembatan. Elastomer berfungsi sebagai alat peredam benturan antara rangka jembatan dengan pondasi. Elastomer terbuat dari material karet mutu tinggi agar mampu mengakomodir beban yang diterima dan meneruskannya dengan halus dan seragam kepada *substructure*.

2.4.3.2 Struktur Bawah Jembatan Rangka (Substructure)

Struktur bawah jembatan merupakan bagian struktur yang menerima atau memikul beban dari struktur atas lalu menyalurkan beban tersebut ke pondasi selanjutnya disalurkan ke tanah. Struktur bawah jembatan terbagi menjadi beberapa bagian, yaitu :

1. Oprit Jembatan/Jalan Pendekat

Oprit jembatan terbentuk dari timbunan tanah di area belakang kepala jembatan dan berfungsi sebagai konektor ruas jalan dengan lintai jembatan.

2. Pelat Injak

Pelat injak adalah konstruksi dari beton yang fungsinya untuk menyamaratakan beban karena lalu lintas kendaraan dan letaknya berada di ujung-ujung jembatan. Pelat injak mampu mengurangi tekanan tanah terhadap dinding kepala jembatan.

3. Bangunan Pengaman Jembatan

Bangunan pengaman jembatan berfungsi sebagai pengaman jembatan terhadap pengaruh aliran air sungai baik secara langsung maupun tidak langsung.

4. Kepala Jembatan (*Abutment*)

Abutment adalah struktur bangunan bawah yang terletak di sebelah kiri dan kanan jembatan dan merupakan tumpuan dari gelagar memanjang jembatan. *Abutment* berfungsi untuk menerima beban dari gelagar memanjang dan meneruskannya ke pondasi jembatan. Disamping itu *abutment* berfungsi sebagai dinding penahan yang menahan tanah dibelakang *abutment*.

5. Pilar Jembatan (*pier*)

Apabila jembatan lebih dari satu bentang maka untuk menghubungkan kedua bangunan atas tersebut diperlukan struktur penghubung yang disebut dengan pilar jembatan. Fungsi dari pilar jembatan adalah untuk meneruskan kedua beban bangunan atas tersebut ke pondasi jembatan.

6. Pondasi Jembatan

Pondasi adalah merupakan bagian paling bawah dari jembatan yang berhubungan dengan tanah. Pondasi berfungsi untuk meneruskan beban dari seluruh beban yang bekerja pada jembatan ke tanah dibawah pondasi. Jenis-jenis pondasi pada jembatan dapat bermacam-macam tergantung dari daya dukung tanah dibawah pondasi.

2.5 Jembatan Pejalan Kaki

Jembatan pejalan kaki adalah jembatan yang difungsikan untuk membantu masyarakat dalam berpindah dari satu tempat ke tempat lainnya melalui sebuah jembatan. Jembatan pejalan kaki ini harus direncanakan agar kuat dari beban-beban yang akan diterima oleh jembatan tersebut nantinya. Pemeliharaan dan perawatan pada jembatan pejalan kaki juga harus dibuat semudah mungkin agar masyarakat sekitar dapat merawat serta menjadikan jembatan tersebut mencapai masa pakai yang sudah direncanakan. Selain itu, jembatan pejalan kaki harus dibangun dengan konstruksi yang mudah, kokoh dan dilengkapi oleh pagar jembatan (*railing*) agar masyarakat yang menggunakan terpenuhi aspek keselamatan, keamanan, kenyamanan, aksesibilitas, keindahan dan interaksi sosial pada pembangunan jembatan.

Menurut John J. Fruin (1997), dalam merencanakan fasilitas penunjang bagi pejalan kaki, termasuk alat penyebrangan seperti jembatan harus mempertimbangkan beberapa faktor diantaranya tentang keselamatan (*safety*), keamanan (*security*), kemudahan (*convenience*), kelancaran (*comfort*), keterpaduan sistem (*system coherence*), dan daya tarik (*attractiveness*). Dari semua faktor tersebut saling berhubungan dan saling bergantung satu sama lain, dimana jika salah satu faktor berubah hal tersebut akan mempengaruhi faktor yang lainnya.

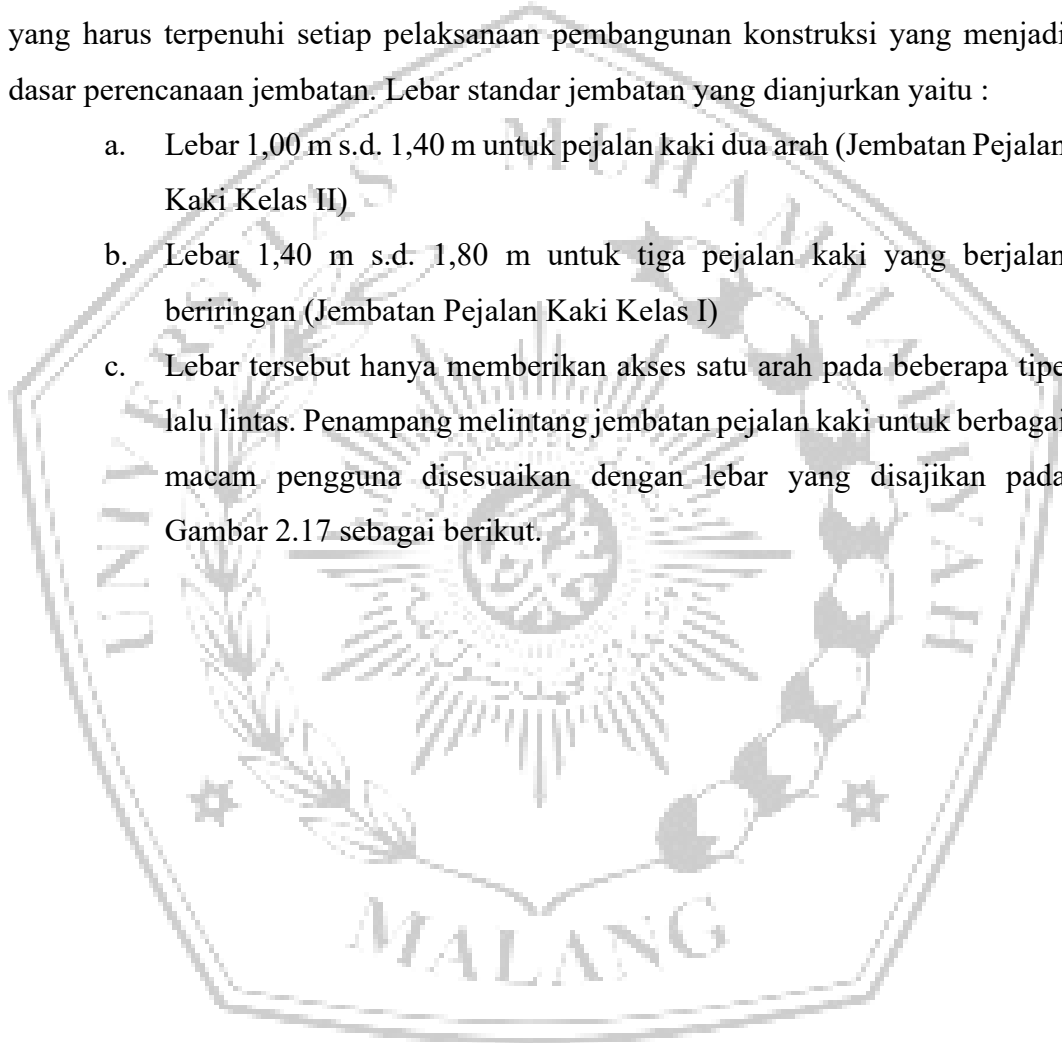
Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum tentang Pedoman Perencanaan, Penyediaan, dan Pemanfaatan Prasarana dan Sarana Jaringan Pejalan Kaki di Kawasan Perkotaan (2014), kebutuhan ruang untuk jalur pejalan kaki ditetapkan berdasarkan ukuran tubuh manusia yang lengkap berpakaian, yaitu selebar 45 cm untuk tebal tubuh sebagai sisi pendeknya. Selain itu, penetapan angka lebar bahu sepanjang 60 cm sebagai sisi panjangnya. Daftar kebutuhan ruang pejalan kaki diantaranya sebagai berikut.

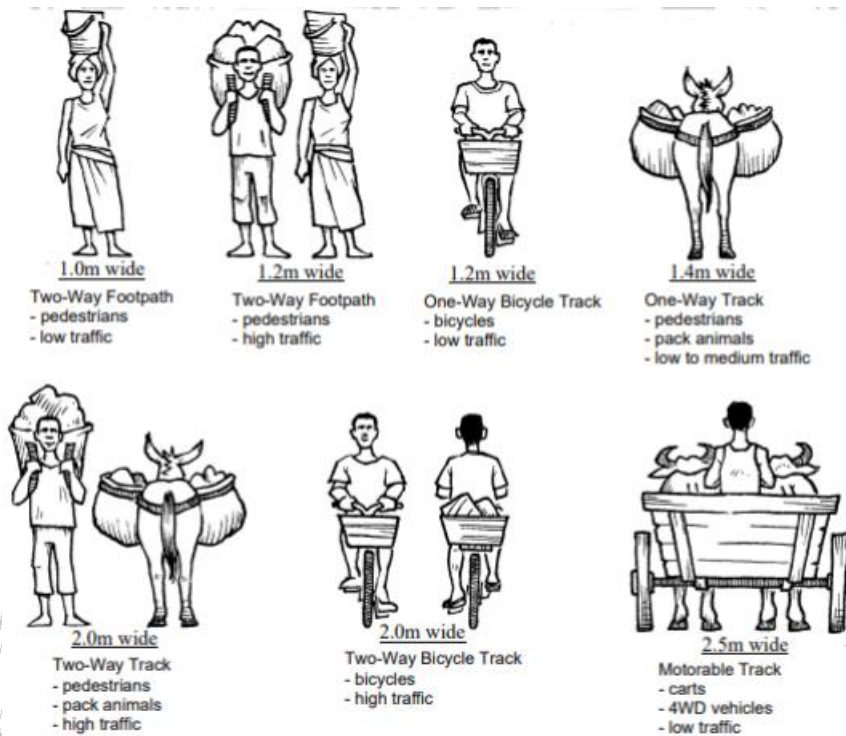
- a. Tanpa membawa barang dalam keadaan diam : $0,27 \text{ m}^2$

- b. Tanpa membawa barang dan dalam keadaan bergerak : $1,08 \text{ m}^2$
- c. Membawa barang dan dalam keadaan bergerak : $1,35 \text{ m}^2$ s.d. $1,62 \text{ m}^2$

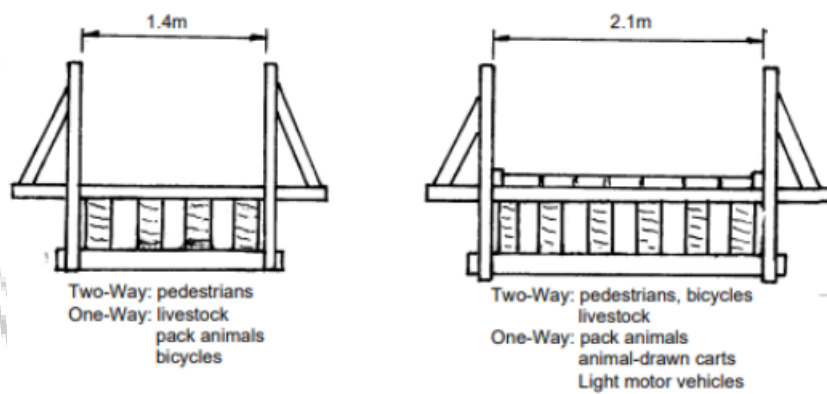
Bedasarkan Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembaan Gantung untuk pejalan kaki (2010), tingkat kebutuhan akan jembatan sebagai alat penyebrangan harus diketahui secara jelas untuk menentukan lebar lantai jembatan yang dibutuhkan sebagai penentuan pekerjaan konstruksi. Perencanaan pembangunan jembatan pejalan kaki harus berkaitan dengan aspek tata guna lahan yang harus terpenuhi setiap pelaksanaan pembangunan konstruksi yang menjadi dasar perencanaan jembatan. Lebar standar jembatan yang dianjurkan yaitu :

- a. Lebar $1,00 \text{ m}$ s.d. $1,40 \text{ m}$ untuk pejalan kaki dua arah (Jembatan Pejalan Kaki Kelas II)
- b. Lebar $1,40 \text{ m}$ s.d. $1,80 \text{ m}$ untuk tiga pejalan kaki yang berjalan beriringan (Jembatan Pejalan Kaki Kelas I)
- c. Lebar tersebut hanya memberikan akses satu arah pada beberapa tipe lalu lintas. Penampang melintang jembatan pejalan kaki untuk berbagai macam pengguna disesuaikan dengan lebar yang disajikan pada Gambar 2.17 sebagai berikut.





Gambar 2. 17 Standar Lebar Jembatan Berdasarkan Tipe Pengguna
 (Sumber :*Footbridges Manual for Construction at Community and District Level, 2004*)



Gambar 2. 18 Standar Lebar Jembatan yang Disarankan
 (Sumber :*Footbridges Manual for Construction at Community and District Level, 2004*)

2.6 Material Jembatan yang Digunakan

Dalam merencanakan sebuah struktur jembatan, perlu adanya profil untuk menciptakan jembatan yang akan dibangun nantinya. Hal ini perlu dipertimbangkan dalam penentuan sebuah profil yang dimana harus memenuhi syarat kekuatan (tegangan), kekakuan (deformasi) dan daktilitis (perilaku keruntuhan). Dengan hal

ini maka kita dapat mengetahui karakteristik dari profil yang akan digunakan. Tujuan dari hal ini adalah material yang digunakan memenuhi syarat, mudah didapatkan dan memudahkan dalam konstruksi nantinya dan dapat mencapai umur yang direncanakan. Berdasarkan hal ini maka profil baja merupakan material yang berkompeten dalam pembuatan sebuah jembatan. Dalam proses pembentukan material baja yaitu dapat melalui proses *hot-rolling* yaitu pembentukan baja dilakukan saat dipanaskan dan *cold-forming* yaitu pembentukan baja dalam kondisi dingin.

Baja merupakan material dengan kekuatan yang baik dan mempunyai nilai ekonomis yang baik. Dalam material baja, bentuk dan ukuran akan selalu sama dan dapat digunakan dengan baik dikarenakan proses pembentukannya yang mudah. Baja juga memiliki sifat daktilitas yang tinggi dimana mampu menahan keruntuhan atau kegagalan konstruksi secara tiba-tiba. Keuntungan dari penggunaan material baja mampu menahan gaya tarik dan tekan. Namun, pemilihan material baja memiliki kelemahan seperti variasi bentuk dalam proses fabrikasi dan terjadi pengurangan terhadap suhu (Setiawan, 2008). Sehingga perlu adanya alternatif yang lebih baik dalam penggunaan material baja (*hot rolled steel*) yang dapat digunakan sebagai material konstruksi salah satunya menggunakan canai dingin (*cold formed steel*).

2.6.1 Material Baja (*Hot Rolled Steel*)

Hot rolled steel (baja canai panas) atau baja hitam adalah plat atau produk baja yang dihasilkan dari proses *hot rolling*. Sebagian dapat baja yang sudah diolah dapat langsung digunakan, namun Sebagian lagi masih menjadi produk antara-biasanya *hot rolled coil* (gulungan) yang memerlukan proses lanjutan. Baja canai panas cenderung lebih berat dan bertekstur kasar serta berpori sebagai dampak proses pengerolan pada suhu tinggi. Meskipun kuat dan tahan lama, baja canai panas cenderung lebih rentan terhadap korosi.

Baja ini akan di roll dan di press pada suhu yang sangat tinggi lebih dari 1700 °F, yang berada di atas suhu kristalisasi ulang untuk sebagian besar baja. Hal ini membuat baja lebih mudah dibentuk, dan menghasilkan produk yang lebih mudah dikerjakan. Untuk memproses baja canai panas, pertama pabrikan mulai dengan logam besar berbentuk persegi panjang yang disebut billet. Billet dipanaskan dan kemudian dikirim untuk pra-pemrosesan dimana pada proses ini

akan diratakan menjadi gulungan besar yang kemudian disimpan pada suhu tinggi dan dijalkan melalui serangkain rol untuk mencapai dimensi akhir. Selanjutnya untaian baja putih yang panas didorong melalui roller dengan kecepatan tinggi. Sedangkan untuk lembaran logam baja akan digulung dan dipintal menjadi gulungan dan dibiarkan dingin. Baja akan sedikit menyusut saat didinginkan dan dikontrol terhadap bentuk hasil akhirnya tidak terlalu presisi. Sehingga biasanya baja ini akan digunakan dimana dimensi yang tidak spesifik tidak terlalu penting yang biasanya akan diaplikasikan pada rel kereta api.

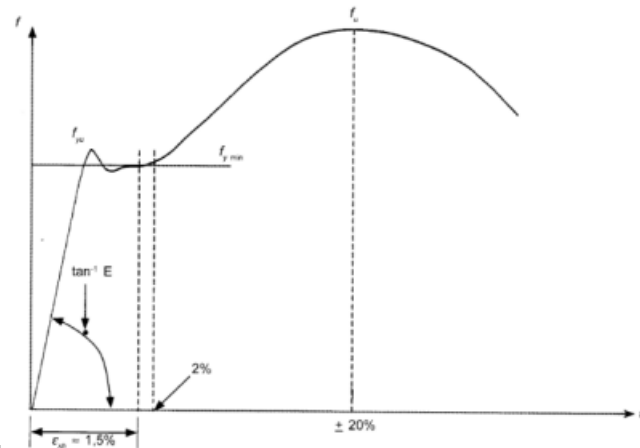
2.6.2 Sifat Mekanis Baja

Material baja yang digunakan harus memenuhi beberapa persyaratan antara lain berdasarkan mutu, tegangan leleh (F_y), dan juga tegangan tarik (F_u). Batasan mutu dan tegangan pada desain material tidak boleh melebihi batasan nilai yang telah ditentukan yang mengacu pada pedoman-pedoman yang berlaku di Indonesia.

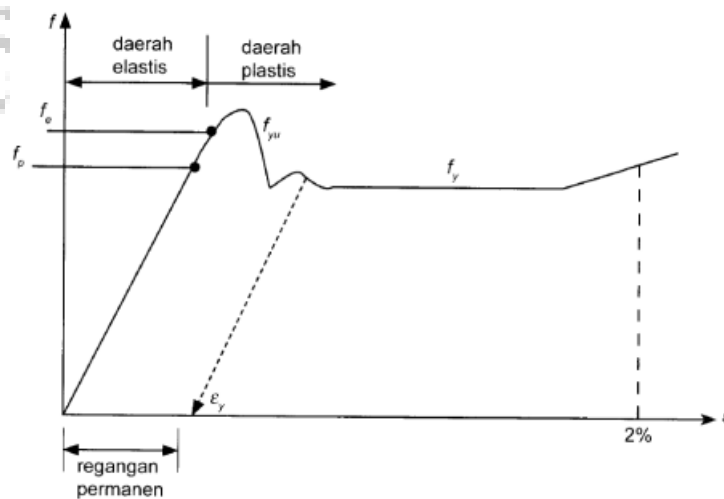
Sifat mekanis suatu bahan adalah kemampuan bahan tersebut memberikan perlawanan apabila diberikan beban pada bahan tersebut. Atau dapat dikatakan sifat mekanis adalah kekuatan bahan dalam memikul beban yang berasal dari luar. Pada baja, sifat mekanis meliputi kekuatan baja, keuletan baja (ductility), kekerasan baja, ketangguhan baja (toughness).

Sifat mekanis dari suatu material baja nantinya akan mampu memberikan resistansi Ketika menompang beban atau secara sederhana adalah sebuah ketahanan suatu material dalam menahan beban. Kekuatan leleh (f_y) dan kekuatan putus (f_u) adalah hal yang akan menjadi dasar dalam ketahanan sebuah baja. Kekuatan ini akan berpengaruh pada beban yang akan diterima dari material tersebut. Modulus elastisitas harus memiliki rasio tegangan norman yang akan terkait ke tegangan tarik dan tekan. Tujuan adanya hal ini akan material baja nantinya tidak akan mengalami tekuk ataupun keruntuhan pada profil nantinya. Pada Gambar 2.19 dan Gambar 2.20 adalah kurva suatu hasil uji tarik material baja yang dilakukan pada suhu kamar serta dengan memberikan laju regangan yang normal. Tegangan nominal (f) yang terjadi dalam benda uji diplot pada sumbu vertical, sedangkan regangan (ϵ) yang merupakan perbandingan antara pertambahan panjang dengan panjang awal ($\Delta L/L$) diplot pada sumbu horizontal. Pada Gambar 2.19 merupakan hasil uji tarik/*tension test* dari suatu benda uji material baja yang diujikan hingga

benda uji mengalami keruntuhan (*failure*), sedangkan Gambar 2.20 menunjukkan kurva yang lebih detail dari perilaku benda uji hingga mencapai regangan $\pm 2\%$.



Gambar 2. 19 Kurva Hubungan Tegangan (f) dan Regangan (ϵ)
 (Sumber : Setiawan, A. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2013)



Gambar 2. 20 Bagian Kurva Tegangan-Regangan yang Diperbesar
 (Sumber : Setiawan, A. Perencanaan Struktur Baja dengan Metode LRFD, 2013)

Titik-titik penting pada kurva tegangan (f) dan regangan (ϵ) antara lain sebagai berikut:

- f_p = Batas proporsional
- f_e = Batas elastis
- f_{yu}, f_y = Tegangan leleh atas dan bawah
- f_u = Tegangan putus (*Ultimate Stress*)
- ϵ_{sh} = Regangan saat mulai terjadi efek *strain-hardening* (penguatan regangan)
- ϵ_u = Regangan saat tercapainya tegangan putus

Material baja memiliki nilai modulus elastisitas sebesar 200000 MPa, dan *tagent* modulus kondisi *strain-hardening* adalah sekitar 1/30 kali kondisi elastisitasnya yaitu 670 MPa. Kondisi tegangan yang konstan membuat pertambahan regangan sampai mulai terjadi *strain-hardening*. Jika beban diteruskan maka tegangannya akan meningkat sampai leleh maksimum dan nilainya dapat disebut sebagai kuat tarik atau kuat batas (*ultimate*)/ F_u . Berdasarkan SNI - 03-1729-2002, klasifikasi mutu dari material baja dibagi menjadi 5 jenis baja yang memiliki nilai tegangan putus, tegangan leleh dan peregangan pada material baja tersebut tersaji pada Tabel 2.2 sebagai berikut.

Tabel 2. 2 Sifat-sifat mekanis baja struktural

Jenis Baja	Tegangan Putus	Tegangan Leleh	Peregangan
	Minimum, F_u (MPa)	Minimum, F_y (MPa)	Minimum (%)
BJ 34	340	210	22
BJ 37	370	240	20
BJ 41	410	250	18
BJ 50	500	290	16
BJ 55	550	410	13

Sumber : SNI 03-1729-2002

Tabel 2. 3 Sifat Mekanis Baja Lainnya

Indikator	Nilai	Satuan
Modulus Elastisitas (E)	200000	MPa
Modulus Geser (G)	80000	MPa
Angka Poisson (ν)	0,3	-
Koefisien Pemuaihan (α)	12×10^{-6}	/°C

Sumber : SNI 03-1729-2002

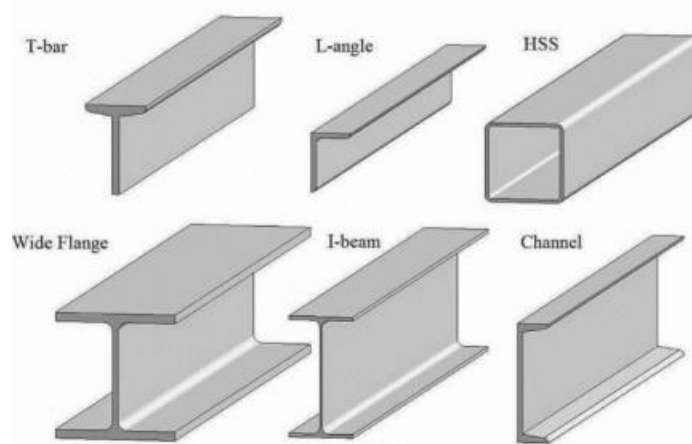
2.6.3 Properti Penampang Baja

Properti penampang dari sebuah material banyak memiliki variasi bentuk dan ukuran demikian juga dengan properti penampang baja yang memiliki bentuk dan ukuran yang berbeda-beda baik bentuk maupun ukurannya. Pemilihan bentuk dan ukuran tergantung hasil analisa yang dilakukan apakah profil tersebut nantinya aman ketika menerima sebuah beban pada profil tersebut.

Baja profil (*structuran steel*) merupakan kategori baja yang digunakan dalam sebuah konstruksi dengan berbagai jenis bentuk dan ukuran sesuai dengan standar yang ada. Jika profil tersebut memiliki bentuk dan ukuran yang tidak ada

dalam sebuah tabel yang ada, maka profil tersebut bisa dilakukan sendiri dan dibuat secara *built up*. Setiap bentuk dan profil memiliki sifat mekanik dan karakteristik yang berbeda-beda sesuai dengan ukurannya. Hal berbeda ini akan mempengaruhi analisa pada sebuah struktur nantinya. Dengan ini maka akan disesuaikan dengan kegunaan dan fungsi pada konstruksi yang akan dikerjakan nantinya. Berikut ini adalah profil-profil dalam material baja.

- **Profil H.** Profil jenis ini dipakai pada komponen rangka utama yaitu pada gelagar bawah (*bottom chord*), gelagar atas (*top chord*), dan batang diagonal (*diagonal chord*). Pada umumnya dimensi profil H pada bagian portal ujung jembatan lebih besar dibandingkan pada bagian tengah. Hal ini dikarenakan batang diagonal pada portal ujung mengalami gaya tekan terbesar dibandingkan pada bagian tengah. Hal ini dikarenakan batang diagonal pada portal ujung mengalami gaya tekan terbesar dibandingkan batang lainnya dan juga memikul gaya angin. Pada umumnya profil H dibuat di pabrik fabrikasi dengan cara menyambungkan pelat-pelat baja memakai pengelasan. Profil H terkadang juga digunakan sebagai ikatan angin.
- **Profil I.** Profil jenis ini dipakai pada gelagar melintang dan gelagar memanjang. Penggunaan profil ini pada bagian tersebut disebabkan oleh momen yang dapat terjadi pada komponen tersebut akibat beban lantai kendaraan beserta beban hidup yang lewat di atasnya
- **Profil Siku.** Profil ini biasanya digunakan pada ikatan angin, baik pada bagian atas maupun bawah jembatan. Profil siku merupakan pelat yang dilas dan yang digunakan juga merupakan profil siku yang simetris.
- **Pipa Baja.** Pipa baja merupakan profil yang digunakan sebagai sandaran pada jembatan rangka. Pipa ini biasa disambungkan pada batang diagonal.



Gambar 2. 21 Profil Baja Hot Rolled
(Sumber : engineeringdiscoveries.com)

2.7 Analisis Struktur Jembatan Rangka Baja

Dalam sebuah perencanaan perlu adanya sebuah analisa terkait dengan profil yang akan digunakan agar struktur yang akan direalisasikan dari desain tersebut akan aman. Dalam sebuah analisa perlu adanya acuan yang akan digunakan sebagai dasar dalam sebuah perhitungan. Dengan hal ini jembatan rangka baja pejalan kaki "Nawasena Bridge", standar/code yang digunakan dalam menganalisis struktur rangkanya yaitu dengan menggunakan SNI 1729 : 2020 tentang Spesifikasi untuk Bangunan Gedung Baja Struktural dan SNI 1725 : 2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan. Dimana bagian struktur yang ditinjau merupakan elemen penyusun rangka yang menerima gaya tarik dan gaya tekan. Serta acuan berupa *AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 8th edition 2017*.

2.7.1 Konsep Desain (Metode LRFD)

Dalam sebuah analisa, terdapat beberapa metode perhitungan yang digunakan sesuai dengan instansi terkait yang menggunakannya. LRFD atau *Load Resistance Factor Design* pada struktur baja menyatakan bahwa beban yang bekerja nantinya dikalikan dengan suatu factor tertentu yang didapatkan datanya secara statistik serta telah dijadikan peraturan/code nantinya. Penggunaan *load factor* tentunya tergantung dari tingkat resiko dari beban tersebut sehingga hasil dari *load factor* nilainya selalu $\geq 1,0$. Begitu juga dengan kekuatan dari struktur dilakukan reduksi terhadap kekuatan material nantinya. Pengurangan kekuatan material ini disebabkan salah satunya adalah ketidaksempurnaan proses fabrikasi/instalasi dan

sebagainya. Analisis nantinya dapat dilakukan secara elastis ataupun plastic dengan merujuk kondisi dari material yang akan digunakan tahan terhadap keadaan struktur (*ultimate*) berupa : tekuk, kondisi leleh dan putus/fraktur. Adapun perencanaan pada jembatan dan komponen dilakukan dengan persyaratan dibawah ini :

$$\phi R_n \geq \sum \eta_i \gamma_i Q_i \dots \dots \dots (2.2)$$

Keterangan :

ϕ : Faktor reduksi struktur (factor keamanan untuk kekuatan nominal struktur)

R_n : Kuat nominal dari struktur diambil dari scenario kegagalan (kondisi *ultimate*) yang mungkin terjadi

$\eta_i \gamma_i Q_i$: Kombinasi jenis beban yang dipikul oleh struktur rencana dimana faktor keamanan diberlakukan baik terhadap beban maupun kekuatan struktur.

2.7.2 Perencanaan Pembebanan pada Jembatan

Beban adalah gaya yang disebabkan oleh tekanan luar yang bekerja pada profil atau sistem struktur nantinya. Gaya yang terjadi akan mempengaruhi sistem struktur yang sudah dirancang untuk di realisasikan. Dalam proses perencanaan, dengan menentukan distribusi gaya yang besarnya dapat ditentukan, akan memudahkan seorang perencana agar struktur yang direncanakan dapat bertahan lama dan kuat menahan gaya tersebut. Setelah mendapatkan hasil perhitungan beban, maka diteruskan menjadi beban kombinasi agar beban yang bekerja bersamaan mampu di tahan oleh struktur nantinya.

Penentuan sebuah beban harus berdasarkan acuan yang digunakan nantinya. Acuan pembebanan pada jembatan dapat meninjau dari peraturan yang berlaku tentang standar pembebanan yaitu **SNI 1725 : 2016 mengenai Pembebanan Untuk Jembatan**, dan **Surat Edaran Menteri Pekerjaan Umum No. 02/SE/M/2010 tentang Pedoman Perencanaan dan Pelaksanaan Konstruksi Jembatan Gantung Untuk Pejalan Kaki** kemudian disesuaikan dengan **AASHTO LRFD Bridge Design Specifications 8th Edition 2017**. Pembebanan nantinya akan menghitung aksi beban rencana yang akan diterima dan memperhitungkan beban

faktor luar yang bekerja yang akan diterima. Beban ini harus dapat ditahan oleh struktur yang dirancang agar struktur tersebut aman ketika digunakan.

2.7.2.1 Beban Pemanen

Menurut SNI 1725 : 2016, beban permanen merupakan beban penyusunan dari jembatan yang bersifat tetap atau tidak berubah, yang termasuk beban permanen yaitu komponen struktur, beban mati tambahan/utilitas, *wearing surface*/lapisan permukaan jalan, overlay aspal jembatan, dan rencana pelebaran jembatan (*planned widenings*). Berat dari elemen tersebut yaitu massa dikalikan dengan percepatan gravitasi; Kerapatan massa memberikan unit kg/m^3 dan kg/mm . Untuk mengubah satuan menjadi N/m^3 , maka kerapatan massa harus dikalikan dengan percepatan gravitasi (g) = 9,81 m/sec^2 dan satuan akan menjadi kg m/sec^2 sebagai satuan newton. Besarnya kerapatan massa dan berat isi untuk berbagai macam bahan disajikan pada Tabel 2.4.

Tabel 2. 4 Berat isi untuk beban mati

No	Bahan	Berat isi (kN/m^3)	Kerapatan massa (kg.m^3)
1	Lapisan permukaan beraspal (<i>bituminous wearing surfaces</i>)	22,0	2245
2	Besi tuang (<i>cast iron</i>)	71,0	7240
3	Timbunan tanah dipadatkan (<i>compacted sand, silt or clay</i>)	17,2	1755
4	Kerikil dipadatkan (<i>rolled gravel, macadam or ballast</i>)	18,8 – 22,7	1920 - 2315
5	Beton aspal (<i>asphalt concrete</i>)	22,0	2245
6	Beton ringan (<i>low density</i>)	12,25 – 19,6	1250 - 2000
7	Beton $f'c < 35 \text{ MPa}$	22,0 – 25,0	2320
	$35 < f'c < 105 \text{ Mpa}$	$22+0,022 f'c$	$2240 + 2,29 f'c$
8	Baja (<i>stell</i>)	78,5	7850
9	Kayu (ringan)	7,8	800
10	Kayu keras (<i>hard wood</i>)	11,0	1125

Sumber : SNI 1725 : 2016

Beban tetap yang direncanakan pada jembatan rangka baja pejalan kaki yaitu beban untuk berat sendiri dan beban mati tambahan.

2.7.2.1.1 Berat Sendiri (MS)

Berdasarkan SNI 1725 : 2016, berat sendiri adalah berat bagian tersebut dan elemen-elemen structural lain yang dipukulnya, termasuk dari hal ini adalah

berat bahan dan bagian jembatan yang merupakan elemen structural, ditambah dengan elemen nonstruktural yang dianggap tetap. Selain berat sendiri, terdapat faktor-faktor yang akan mempengaruhi jembatan itu nantinya dimana sesuai dengan keadaan batas yang akan direncanakan untuk jembatan yang akan di bangun nantinya sesuai dengan Tabel 2.5 sebagai berikut.

Tabel 2. 5 Faktor Beban Untuk Berat Sendiri γ_{MS}

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MS})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MS}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MS}^U)		
	Bahan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Baja	1,00	1,10	0,90
	Alumunium	1,00	1,10	0,90
	Beton Pracetak	1,00	1,20	0,85
	Beton cor di tempat	1,00	1,30	0,75
	Kayu	1,00	1,40	0,70

Sumber : SNI 1725 : 2016 (Tabel 3)

2.7.2.1.2 Beban Mati Tambahan/ Utilitas (MA)

Berdasarkan SNI 1725 : 2016 tentang Pembebanan untuk Jembatan, Beban mati tambahan adalah berat seluruh bahan yang membentuk suatu beban pada jembatan yang merupakan elemen nonstruktural, dan besarnya dapat berubah selama umur jembatan. Factor beban mati tambaha yang berbeda dengan ketentuan pada table yang akan disajikan nantinya boleh digunakan dengan persetujuan instansi yang berwenang. Hal ini bisa dilakukan apabila instansi tersebut melakukan pengawasan terhadap beban mati tambahan pada jembatan, sehingga tidak dilampaui selama umur jembatan yang sesuai dengan Tabel 2.6 sebagai berikut.

Tabel 2. 6 Faktor Beban Untuk Beban Mati Tambahan (γ_{MA})

Tipe beban	Faktor beban (γ_{MA})			
	Keadaan Batas Layan (γ_{MA}^S)	Keadaan Batas Ultimit (γ_{MA}^U)		
	Bahan	Biasa	Terkurangi	
Tetap	Umum	1,00 ⁽¹⁾	2,00	0,70
	Khusus (terawasi)	1,00	1,40	0,80

Catatan ⁽¹⁾ : Faktor beban layan sebesar 1,3 digunakan untuk berat utilitas

Sumber : SNI 1725 : 2016 (Tabel 4)

2.7.2.2 Beban Sementara

Beban sementara terjadi apabila suatu beban melewati pada suatu sistem struktur dalam kondisi atau waktu tertentu. Beban sementara ini nantinya tidak berpusat pada satu titik dari sturkutr itu nantinya namun akan berpindah dari satu titik ke titik lainnya. Beban sementara ini terdiri dari beban pejalan kaki, gaya akibat suhu, beban angin, gaya gesek perletakan, beban gempa dan beban pelaksana.

Beban sementara direncanakan pada jembatan rangka pejalan kaki yaitu beban pelaksanaan, beban lalu lintas atau beban pejalan kaki dan beban aksi lingkungan.

2.7.2.2.1 Beban Tetap Pelaksanaan

Beban pelaksanaan adalah beban yang disebabkan oleh metode pelaksanaan pekerjaan jembatan di lapangan. Beban ini berkaitan dengan beban aksi lainnya sehingga beban ini harus difaktorkan dengan beban yang telah ditentukan. Faktor beban tetap pelaksanaan disajikan dalam Tabel 2.7.

Tabel 2. 7 Faktor Beban Akibat Pengaruh Pelaksanaan (γ_{PL})

Tipe Beban	Bahan	Faktor kombinasi beban		
		Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Biasa	Ultimit Terkurangi
Tetap	Beban Pelaksanaan	1,00	1,00	1,00

Sumber : SNI 1725 : 2016 (Tabel 10)

2.7.2.2.2 Beban Lalu Lintas

Beban lalu lintas merupakan beban yang selalu melintasi jembatan, pada perencanaan jembatan ini didesain menggunakan beban rencana yang berupa beban pejalan kaki sebesar 500 kg/m. Faktor beban lalu lintas yang digunakan disajikan pada Tabel 2.8.

Tabel 2. 8 Faktor Beban Lalu Lintas

Tipe Beban	Jembatan	Faktor Beban	
		Keadaan Batas Layan	Keadaan Batas Ultimit
Transien	Beton	1,00	1,80
	Baja	1,00	2,00

Sumber : SNI 1725 : 2016 (Tabel 12)

2.7.2.2.3 Beban Aksi Lingkungan

Dalam merencanakan sebuah jembatan maka perlu mempertimbangkan beban-beban yang terjadi pada jembatan tersebut salah satu fakto pembebanan bisa berasal dari alam yang berupa beban akibat angin dan beban air hujan. Besarnya pembebanan ini dihiung berdasarkan standar SNI 1725 : 2016 dengan Analisa statistic dari kejadian-kejadian umum yang mungkin akan memperbesar pengaruh setempat.

1. Beban Angin

Tekanan angin pada jembatan harus direncanakan dengan kecepatan angin dasat (V_B) sebesar 90 hingga 126 km/jam. Beban angin harus diasumsikan terdistribusi merata pada permukaan yang terekspos oleh angin. Berikut ini tekanan angin rencana (MPa) dapat ditetapkan dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$P_D = P_D \left(\frac{V_{DZ}}{V_B} \right)^2$$

Keterangan :

P_D = Tekanan angin pada struktur

P_D = Tekanan angin dasar sesuai tabel 29 hal 56 SNI 1725 : 2016)

V_{DZ} = Kecepatan angin rencana pada elevasi rencana, Z (km/jam)

V_B = Kecepatan angin rencana yaitu 90 hingga 126 km/jam

Untuk jembatan atau bagian jembatan dengan elevasi lebih tinggi dari 10000 mm diatas permukaan tanah atau permukaan air, kecepatan angin rencana harus di hitung sesuai dengan SNI 1725 : 2016 pada hal 55 sesuai dengan ketentuan hal tersebut.

2. Beban Air Hujan

Beban air hujan merupakan beban yang diakibatkan adanya genangan air hujan diatas rangka jembatan. Pada jembatan pedestrian atau pejalan kaki beban hujan yang bekerja di asumsikan memiliki ketebalan 2cm yang kemudian didistribusikan menjadi beban titik pada rangka jembatan.

2.7.2.2.4 Beban Kombinasi

Faktor kombinasi pembebanan pada struktur jembatan harus benar-benar diperhatikan untuk mendapatkan hasil aksi dari struktur jembatan yang paling berpengaruh dan disesuaikan dengan kebutuhan dari struktur jembatan itu sendiri. Faktor beban kombinasi ini juga harus memiliki sumber yang dapat digunakan seperti SNI 1725 : 2016. Tujuan adanya kombinasi ini adalah melihat kekuatan pada struktur jembatan itu nantinya.

2.7.3 Batang Tarik (*Tension Member*)

Material baja merupakan material yang mampu menahan gaya baik gaya tarik maupun gaya tekan. Namun, secara teori material baja dapat menahan gaya tarik lebih baik dibandingkan gaya tekan. Menurut SNI 1729 : 2020 batang tarik dibagi menjadi dua yaitu kuat tarik nominal pada penampang bruto dan kuat tarik berdasarkan penampang efektif. Dari dua hal ini akan diambil nilai terkecil diantara kuat tarik nominal tersebut.

a) Kuat tarik nominal saat kondisi leleh pada penampang bruto

$$Pr = \phi_y P_{ny} = \phi F_y A_g$$

Keterangan :

F_y : Tegangan leleh baja (MPa)

A_g : Luas penampang bruto pada batang (mm^2)

ϕ_y : Faktor tahanan untuk kondisi leleh, dapat diambil sebesar 0,90

Adanya konsentrasi tegangan yang bekerja pada batang beberapa kali lebih besar dari tegangan rencana sehingga dapat diatasi dengan material daktail (pada tegangan leleh). Perilaku tersebut menyebabkan tegangan tidak merusak lubang. Namun hanya menyebabkan deformasi saat tegangan leleh tercapai. Teori inilah yang menyebabkan redistribusi tegangan (gaya) ke bagian lubang baut dianggap belum meleleh.

b) Kuat tarik nominal saat kondisi runtuh pada penampang efektif

$$Pr = \phi_u P_{nu} = \phi_u F_u A_n R_p U$$

Keterangan :

F_u : Tegangan tarik putus baja (MPa)

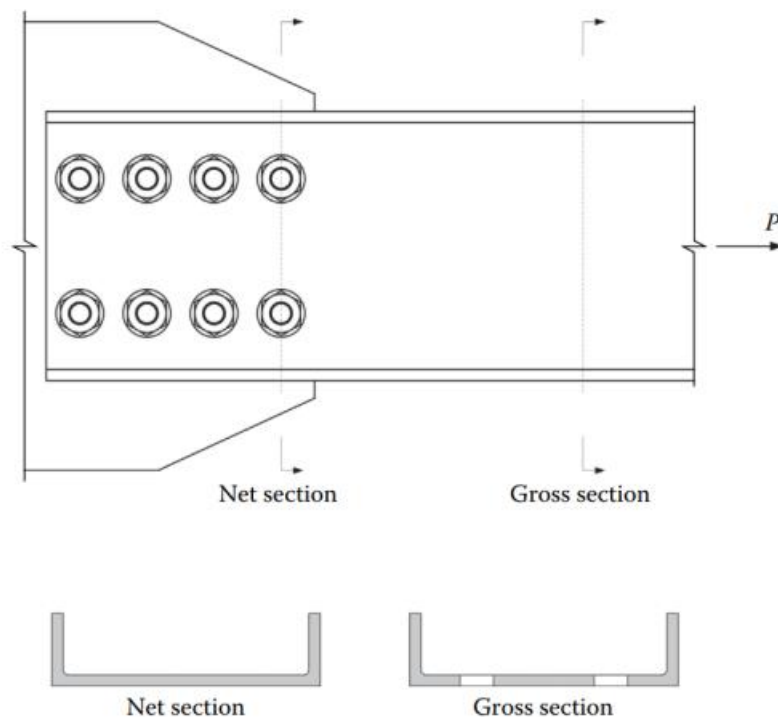
A_n : Luas penampang bersih (netto) dikurangi luas lubang (mm^2)

R_p : Faktor reduksi untuk lubang baut, dimana 0,9 pada kondisi ulir baut masuk area lubang baut dan 1,0 untuk kondisi ulir baut tidak masuk area lubang.

U : Faktor Shear Lag

ϕ_u : Faktor tahanan untuk kondisi fraktur 0,80

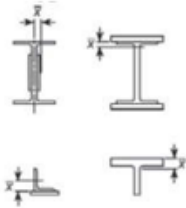
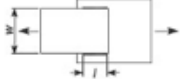

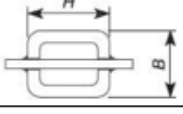
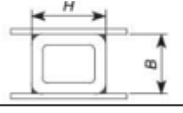
Kuat tarik pada penampang berlubang (pada bagian sambungan) tentu akan memanfaatkan perilaku dari sifat mekanis baja *strain-hardening* (peningkatan tegangan) yang dipicu oleh peningkatan tegangan yang terkonsentrasi di sekitar lubang. Oleh karena itu, pola keruntuhan dipakai adalah f_u sehingga faktor tahanan yang disyaratkan juga berbeda.



Gambar 2. 22 Gambaran tinjauan kapasitas tarik pada penampang bruto dan netto

2.7.3.1 Faktor *Shear Lag* (U)

Faktor *shear lag* (U) pada batang tarik berfungsi untuk mengantisipasi adanya kesalahan atau ketidaksempurnaan pada saat proses penyambungan material baja nantinya agar distribusi tegangan menjadi merata dan dapat menambah kinerja pada batang tarik. Hal menentukan besar atau tidaknya *shear lag* pada batang tarik adalah tergantung dari bentuk sambungan yang digunakan. Pemilihan bentuk sambungan akan meningkatkan kekuatan pada sambungan tersebut dan juga sistem struktur yang akan di bangun dapat dikerjakan dengan mudah dengan anggaran biaya pembuatan sambungan yang relatif murah. Pada gambar berikut ini dijelaskan nilai factor tersebut pada batang tarik sesuai dengan (AASHTO 2017 dan SNI 1729:2020).

No.	Kasus	Faktor Shear Lag (U)	Contoh
1	Semua komponen struktur tarik dimana beban tarik disalurkan secara langsung ke setiap elemen profil melintang melalui sarana penyambungan atau las (kecuali seperti pada kasus no. 4, 5, dan 6).	$U = 1,0$	-
2	Semua komponen struktur tarik kecuali pelat dan PSB, dimana beban tarik disalurkan ke beberapa elemen tetapi tidak semua dari elemen profil melintang melalui sarana penyambung atau las longitudinal dalam kombinasi dengan luas transversal (secara alternatif untuk W, M, S, dan HP pada kasus no. 7).	$U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$	
3	Semua komponen struktur tarik dimana beban tarik hanya disalurkan melalui las transversal ke beberapa elemen tetapi tidak semua dari elemen profil melintang.	$U = 1,0$ dan $A_n = \text{Luas dari elemen yang disambung langsung}$	-
4	Pelat dimana beban tarik disalurkan hanya melalui las longitudinal.	$L \geq 2w \dots U = 1,0$ $2w > L > 1,5 \dots U = 0,87$ $1,5w > L \geq w \dots U = 0,75$	
5	PSB bundar dengan sebuah pelat buhul konsentrik tunggal.	$L > 1,3D \dots U = 1,0$ $D < L < 1,3D \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{L} - \frac{D}{\pi}$	
6	PSB Persegi Dengan sebuah pelat buhul konsentris tunggal	$L \geq H \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ $\bar{x} = \frac{B^2 + 2BH}{4(B + H)}$	
	Dengan dua sisi pelat buhul	$L \geq H \dots U = 1 - \frac{\bar{x}}{L}$ $\bar{x} = \frac{B^2}{4(B + H)}$	
7	Bentuk W, M, S, HP, atau T memotong dari bentuk-bentuk ini (jika U dihitung dalam kasus 2, nilai yang lebih besar diizinkan untuk digunakan).	$bf \geq \frac{2}{3}d \dots U = 0,90$ $bf < \frac{2}{3}d \dots U = 0,85$ $U = 0,70$	-
8	Œiku tunggal dan ganda (jika U dihitung dalam kasus no. 2, nilai yang lebih besar diizinkan untuk digunakan).	$U = 0,80$ $U = 0,60$	-

L = panjang sambungan (mm); w = lebar pelat (mm); X = eksentrisitas sambungan (mm); B = lebar keseluruhan dari komponen struktur PSB persegi, diukur 90° terhadap bidang sambungan (mm); H = tinggi keseluruhan dari komponen struktur PSB persegi, diukur pada bidang sambungan (mm).

Sumber: SNI 1729:2020

Gambar 2. 23 Faktor Shear Lag (U) pada Batang Tarik
Sumber : SNI 1729:2020 dan AASHTO 2017

2.7.3.2 Batas Rasio Kelangsingan Batang Tarik/ *Tension Member*

Material baja yang bermutu tinggi akan menyebabkan dimensi pada batang bisa sangat langsing. Kelangsingan pada batang yang mengalami tekuk atau yang terjadi pada batang tekan. Namun, sesuai dengan AASHTO 2017, tetap disarankan untuk mempertimbangkan rasio kelangsingan, karena struktur yang sangat ramping cenderung lebih rentan terhadap getaran dan guncangan, yang dapat mengakibatkan ketidaknyamanan pada struktur. Adapun syarat diperbolehkan batasan rasio kelangsingan bisa dikatakan aman yaitu memenuhi syarat sebagai berikut

- Batasan Rasio Kelangsingan Batang Primer

$$\frac{L}{r} < 200$$

- Batasan Rasio Kelangsingan Batang Sekunder

$$\frac{L}{r} < 240$$

Dimana:

L : Panjang batang (mm)

r : Jari-jari girasi penampang (mm)

2.7.4 Batang Tekan (*Compression Member*)

Batang tekan pada struktur baja hanya menerima gaya tekan secara sentris saja. Struktur baja bisa dijumpai pada struktur jembatan. Pada struktur jembatan, batang tekan yang ada ditujukan untuk komponen struktur yang menerima beban tekan sentris yang tepat pada titik berat penampang batang tersebut (ujung-ujung). Pada pelaksanaan lapangan, untuk membuat presisi pada sambungan sulit yang mengakibatkan terjadinya eksentrisitas pada batang sehingga dapat menimbulkan adanya momen pada batang.

Penentuan kapasitas batang tekan berbeda dengan batang tarik. Batang tarik menggunakan parameter material F_u dan F_y , sementara batang tekan hanya menggunakan F_y . Selain dari bahan itu, penentuan kapasitas batang tekan juga dipengaruhi oleh parameter lain seperti konfigurasi fisik (panjang batang) dan geometri dari potongan batang tekan. Oleh karena itu, batang tekan memiliki rasio kelangsingan yang harus dipertimbangkan untuk mencegah tekukan lokal dan tekukan global. Klasifikasi untuk membedakan antara penampang yang ramping dan tidak ramping terdapat dalam AASHTO 2017.

2.7.4.1 Batasan Rasio Kapasitas pada Batang Tekan

Perencanaan rasio kelangsingan pada batang menjadi parameter yang sangat penting dan dapat dijadikan Batasan kinerja terhadap perilaku batang tekan. Dalam hal ini perencanaan batang tekan yang menjadi penentu batang tekan adalah luar penampang, pengaruh bentuk penampang terhadap kekakuan lentur dan Panjang batang yang ditumpu yang diformulasikan dengan panjang efektif dengan kondisi tumpuan (KL) tersebut. Dibawah ini merupakan Batasan rasio penampang kelangsingan batang tekan menurut AASHTO 2017 :

a. Untuk Batang Utama





$$\frac{KL}{r} \leq 120$$

b. Untuk Batang Sekunder

$$\frac{KL}{r} \leq 140$$

Dimana :

K : Faktor panjang efektif batang

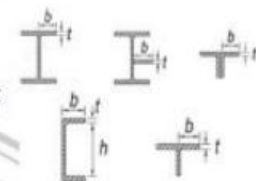
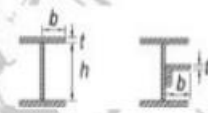
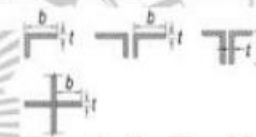
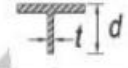
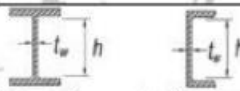
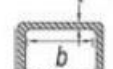
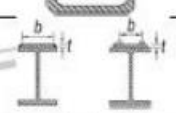


Buckled shape of column is shown by dashed line	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Theoretical K value	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Design value of K when ideal conditions are approximated	0.65	0.80	1.0	1.2	2.1	2.0
End condition code	   	Rotation fixed Translation fixed Rotation free Translation fixed		Translation fixed Translation free		Translation free

Gambar 2. 24 Faktor panjang efektif pada batang tekan
(Sumber : AASHTO 2017)

2.7.4.2 Kelangsingan Penampang pada Batang Tekan

Perilaku tekuk pada batang tekan dapat dibagi menjadi dua kategori, yakni tekuk lokal (*local buckling*) dan tekuk global (*global buckling*). Kedua jenis perilaku tekuk ini harus dihindari agar struktur yang direncanakan dapat berfungsi secara optimal. Oleh karena itu, menurut AASHTO 2017 dan SNI 1729:2020,

penampang batang dapat diklasifikasikan menjadi tiga kategori, yaitu penampang kompak (*compact*), tidak kompak (*non-compact*), dan langsing (*slender*). Klasifikasi ini dilakukan dengan mengevaluasi rasio antara lebar dan tebal penampang (b/t) dan membandingkannya dengan nilai batasan yang sesuai dengan tabel berikut (AASHTO, 2017). Rasio lebar terhadap tebal (elemen tekan) disajikan pada gambar berikut.

Kasus	Deskripsi Elemen	Rasio tebal terhadap lebar	Batasan rasio tebal terhadap lebar	Contoh
1	Sayap dari profil I canai panas, pelat yang diproyeksikan dari profil I canai panas; kaki berdiri bebas dari sepasang siku disambung dengan kontak menerus; sayap dari kanal, dan sayap dari T.	b/t	$0,56\sqrt{E/F_y}$	
2	Sayap dari profil I tersusun dan pelat atau kaki siku yang diproyeksikan dari profil I tersusun	b/t	$0,64\sqrt{\frac{E_c E}{F_y}}$	
3	Kaki dari siku tunggal, kaki dari siku ganda dengan pemisah, dan semua elemen tak diperkaku tak diperkaku lainnya	b/t	$0,45\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
4	Stem dari T	b/t	$0,75\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
5	Badan dari profil I simetris ganda dan kanal	b/t	$1,49\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
6	Dinding PSB persegi dan boks dari ketebalan merata	b/t	$1,40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
7	Pelat penutup sayap dan pelat diafragma antara deretan sarana penyambung atau las	b/t	$1,40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
8	Semua elemen diperkaku lainnya	b/t	$1,40\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	
9	PSB bulat	b/t	$1,11\sqrt{\frac{E}{F_y}}$	

Gambar 2. 25 Rasio Lebar terhadap Tebal : Elemen Tekan Komponen Struktur yang Mengalami Aksial Tekan

Sumber : SNI 1729 : 2020 (Tabel B4. 1a)

2.7.4.3 Kuat Tekan Nominal pada Batang Tekan

Pada perencanaan batang tekan, tergantung dari penampang yang akan ditinjau klasifikasinya seperti penampang kompak dan non kompak. Hal ini menjadikan penampang tersebut dibagi menjadi 3 perilaku itu tekuk lentur, tekuk torsi dan tekuk lentur torsi yang dijelaskan pada SNI 1729:2020 pada point E. Hal ini bertujuan untuk memberikan karakteristik perilaku tekuk yang ditinjau nantinya agar system struktur yang akan dibangun menjadi kuat dan tidak mudah mengalami tekuk.

2.8 Sambungan (*Connection*)

Dalam sebuah struktur jembatan perlu adanya sambungan yang menyatukan antara satu elemen dengan elemen lainnya. Sambungan ini bertujuan agar elemen yang disatukan dapat menahan beban yang bekerja pada sistem struktur nantinya. Pada jembatan baja, terdapat beberapa jenis sambungan seperti sambungan paku keling, sambungan baut dan sambungan baja. Jembatan rangka baja pejalan kaki "*Nawasena Bridge*" direncanakan menggunakan sambungan baut.

Dalam merencanakan sebuah sambungan baut maka akan ada kriteria dari baut tersebut baik jarak ketepi minimum dan jarak antar baut tersebut. Selain itu penentuan jarak ini mempertimbangkan pelat sambung dan profil yang digunakan untuk mampu menahan kekuatan geser, tumpu dan tahanan baut. Lubang baut juga menjadi hal penting dalam sebuah sambungan. Lubang baut dibagi menjadi empat kelompok yaitu standar, kebesaran, slot pendek dan slok panjang. Adanya kriteria ini memudahkan perencana untuk merencanakan sambungan agar sambungan tersebut kuat terhadap berbagai beban. Penjelasan mengenai baut lebih rincinya ada AASHTO 2017 dan SNI 1729:2020 pada point J